

PAT-NO: JP410246612A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 10246612 A

TITLE:

THREE-DIMENSIONAL-SHAPE MEASURING METHOD

PUBN-DATE: September 14, 1998

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

TAKEDA, MITSUO

KINOSHITA, MASAYA

KO, TAKESHI

TAKAI, HIDEAKI

TAKAHASHI, YOSUKE

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

OPTON CO LTD

N/A

APPL-NO: JP09050566

APPL-DATE: March 5, 1997

INT-CL (IPC): G01B011/24, G06T007/00

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a three-dimensional-shape measuring method in which objects, to be measured, not having connection points mutually and composed of isolated faces can be measured instantaneously by a method wherein a two-dimensional lattice image which is deformed according to three-dimensional shapes of the objects to be measured is imaged and phases are detected in each of their one-dimensional lattice components.

SOLUTION: A lattice pattern by a two-dimensional lattice 1 is projected, by a light source 4, on objects 6a, 6b, 7 which do not have connection points mutually and which are composed of isolated faces, and a two-dimensional lattice image 10 is imaged by an image sensor 11. The two-dimensional lattice image 10 is deformed according to three-dimensional shapes of the objects to be measured, and one dimensional lattices which are composed of lines in the longitudinal direction and the oblique direction are superposed in a multiple

manner. An image processing circuit 12 two-dimensionally Fourier-transforms image data according to the input two-dimensional lattice image 10, and the intensity distribution of a spatial-frequency spectrum is obtained. The component of the spectrum is extracted selectively by a spatial-frequency filter, it is inverse-Fourier-transformed two-dimensionally, and a phase is heterodyne-detected. Then, the phase of all multiple spectrums is detected, a height distribution is found, and the distribution of a three-dimensional shape which is folded in different height ranges is obtained in every frequency spectrum.

COPYRIGHT: (C)1998, JPO

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-246612

(43)公開日 平成10年(1998)9月14日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

G 01 B 11/24

G 06 T 7/00

識別記号

F I

G 01 B 11/24

G 06 F 15/62

A

K

415

審査請求 未請求 請求項の数3 OL (全8頁)

(21)出願番号

特願平9-50566

(22)出願日

平成9年(1997)3月5日

特許法第30条第1項適用申請有り 1996年9月7日 社  
団法人応用物理学会発行の「1996年(平成8年)秋季第  
57回応用物理学会学術講演会講演予稿集 No. 3」に  
発表

(71)出願人 000150213

株式会社オプトン

愛知県瀬戸市穴田町970番地の2

(72)発明者 武田 光夫

東京都八王子市久保山町1-9-106

(72)発明者 木下 雅也

東京都府中市朝日町2-2-19 朝日荘  
203

(72)発明者 顧 全

東京都調布市富士見町2-10-67 第2富  
士見荘201

(74)代理人 弁理士 足立 勉

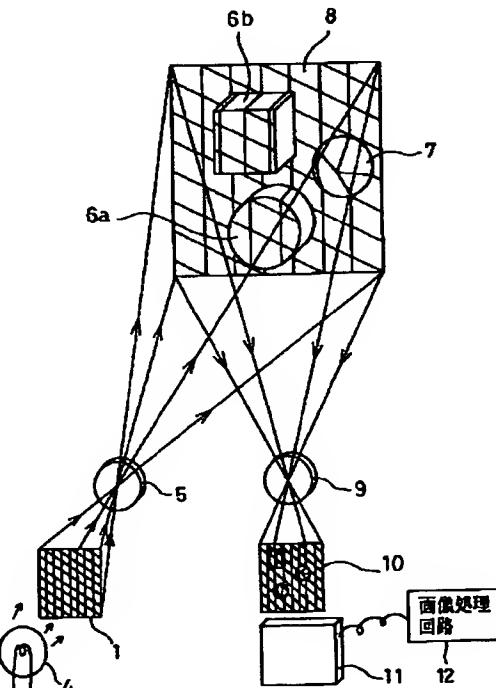
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 3次元形状測定方法

(57)【要約】

【課題】不連続段差や相互に接続点をもたない被測定物  
を、瞬時に測定でき、振動や空気の微小ゆらぎなどの影  
響を受けにくい3次元形状測定方法を得る。

【解決手段】周期と向きとが互いに異なる複数の1次元  
格子を重畳させた2次元格子パターンを被測定物6a,  
6b, 7に投影し、被測定物6a, 6b, 7の3次元形  
状に応じて変形した2次元格子像10を撮像し、2次元  
格子像10から各1次元格子成分毎に位相を検出し、各  
位相に基づいて3次元形状の測定値を得る。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 3次元形状の被測定物に格子パターンを投影し、この格子像から前記被測定物の3次元形状の測定値を得る3次元形状測定方法において、周期と向きとが互いに異なる複数の1次元格子を重畳させた2次元格子パターンを前記被測定物に投影し、前記被測定物の3次元形状に応じて変形した2次元格子像を撮像し、該2次元格子像から前記各1次元格子成分毎に位相を検出し、該各位相に基づいて前記測定値を得ることを特徴とする3次元形状測定方法。

【請求項2】 前記2次元格子パターンを投影する投影器の投影レンズと前記2次元格子パターンを撮像するカメラの結像レンズとの中心を結ぶ直線が、前記被測定物を置いた参照平面と平行であることを特徴とする請求項1記載の3次元形状測定方法。

【請求項3】 前記両レンズの中心を結ぶ直線方向の前記各一次元格子の周期比が、素数比であることを特徴とする請求項1又は請求項2記載の3次元形状測定方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、3次元形状の被測定物に格子パターンを投影し、この投影像から被測定物の形状を測定する3次元形状測定方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来より、被測定物に格子状のパターンを投影し、被測定物各部の高さ分布に応じて変形した格子像から3次元形状を測定するモアレ法やヘテロダイイン法が知られている。モアレ法では変形格子像に基準格子を重ねることにより被測定物の高さ分布の等高線を与えるモアレ線を発生させて高さ分布を求めていた。ヘテロダイイン法では基準格子を無変調の空間的キャリア周波数信号と考え、変形格子像を空間的に位相変調されたキャリア信号とみなして変形量を位相として検出することにより被測定物の高さ分布を求めていた。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】これらの測定方法は、面の形状が滑らかで各部が相互に連続に接続された被測定物に対しては有効であるが、大きな不連続段差をもつ被測定物や各部が相互に接続点をもたない孤立した面から構成されるような被測定物の形状を測ることができない。モアレ法の場合は、不連続な等高線の継ぎ目を一意に決定できないためであり、また、ヘテロダイイン法の場合は、 $(-\pi, \pi]$ の主値の範囲に折り畳まれて検出される位相分布から不連続物体の高さ分布を一意に決定することができないためである。このような不連続段差をもつ被測定物を測定するため、種類の異なる複数の格子状のパターンを逐次投影して得られる複数の変形格子像から物体形状を求める方法や、白色光源や波長可変レーザー光源を用いた干渉計測法がある。

【0004】しかし、前者は複数の格子状パターンを逐

次的に投影して変形格子像を記録する必要があるために、高速運動中や高速変形中の被測定物の瞬時形状を調べるような瞬時性を要する計測に対応できないという難点があり、後者はさらに振動や空気のゆらぎによる干渉線の乱れを防ぐための除振台等を必要とするという問題があった。

【0005】本発明の課題は、大きな不連続段差をもつ被測定物や各部が相互に接続点をもたない孤立した面から構成されるような被測定物を、瞬時に測定することができ、振動や空気の微小ゆらぎなどの影響を受けにくい3次元形状測定方法を提供することにある。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】かかる課題を達成すべく、本発明は課題を解決するため次の手段を取った。即ち、3次元形状の被測定物に格子パターンを投影し、この格子像から前記被測定物の3次元形状の測定値を得る3次元形状測定方法において、周期と向きとが互いに異なる複数の1次元格子を重畳させた2次元格子パターンを前記被測定物に投影し、前記被測定物の3次元形状に応じて変形した2次元格子像を撮像し、該2次元格子像から前記各1次元格子成分毎に位相を検出し、該各位相に基づいて前記測定値を得ることを特徴とする3次元形状測定方法がそれである。

【0007】また、前記2次元格子パターンを投影する投影器の投影レンズと前記2次元格子パターンを撮像するカメラの結像レンズとの中心を結ぶ直線が、前記被測定物を置いた参照平面と平行となるようにすることができる。更に、前記両レンズの中心を結ぶ直線方向の前記各一次元格子の周期比は、素数比であることが好ましい。

## 【0008】

【発明の実施の形態】以下本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。図1(A)は、本実施形態に用いられる2次元格子1の拡大図である。この実施形態では、図1(B)に示すように、縦方向の条線の周期的繰り返し(周期=d1)による1次元格子2と、図1(C)に示すように、斜め方向の条線の周期的繰り返し(周期=d2)による1次元格子3の両者を重畳して多重度2の2次元格子1を形成している。

【0009】尚、条線に限らず、ドットにより形成してもよく、あるいは、異なる方向の条線をもつ1次元格子を重畳させて多重度を増すことができる。また、1次元格子2、3としては不要な高調波成分を含まない正弦波格子が理想的であるが、信号処理の段階で不要な高調波成分を除去することにより、製作の容易な矩形格子を用いることもできる。

【0010】後述する投影レンズ8と結像レンズ9との中心を結ぶ直線方向の各1次元格子2、3の各周期d1、d2は、物体の高さを位相値に変換する計測感度に対応するので、これらは異なる値になるようにする。こ

の実施形態では、異なる位相感度の複数の計測データを統合して高さ分布を求める方法として合同法を用いるために  $d_1 : d_2$  を  $3 : 7$  の素数比とした。

【0011】この2次元格子1を、図2に示すように、光源4で照明し、投影レンズ5により3個の被測定物6a, 6b, 7上に投影する。3個の被測定物6a, 6b, 7は、相互に接続点を持たない孤立した面からなる物体である。この3個の被測定物6a, 6b, 7は、参照平面8上に置かれており、参照平面8は高さ計測の基準面を与える。

【0012】結像レンズ9は被測定物6a, 6b, 7及び参照平面8上の2次元格子パターンを2次元格子像10としてイメージセンサ11上に結像する。イメージセンサ11からの画像データは画像処理回路12に入力される。投影レンズ5と結像レンズ9の投影中心を結ぶ直線を参照平面8に平行にして参照平面8が高さ計測の基準面となるようにする。

【0013】更に、結像レンズ9の光軸は参照平面8に垂直であり、投影レンズ5と結像レンズ9の投影中心を結ぶ直線が水平方向になるように配置する。こうすることにより、被測定物6a, 6b, 7の高さを位相値に変換する計測感度比が各1次元格子2, 3の水平方向の周期比  $d_1 : d_2$  により決定され、縦方向の周期比には依存しなくなるので1次元格子2, 3を重複し多重化する際の条線の傾き角の選択の自由度が生じる。この条線の\*

$$g(x, y) =$$

$$r(x, y) \sum_{k=1}^K \{ 1 + \cos [2\pi (f_{xk}x + f_{yk}y) + \phi_k(x, y)] \}$$

… (1)

$$\phi_k = 2\pi \tan \theta f_{xk} h(x, y)$$

【0018】フーリエ変換法の空間周波数フィルタリングにより  $\phi_k(x, y)$  を分離して個別に取り出すことができるが、得られる各々の  $h_k(x, y)$  は  $\Delta h_k$  (下記(2)式)の主値に折り畳まれているのでこれらのデータはそれぞれ  $\Delta h_k$  を法とする合同系を作っている。x方向の周期比を互いに素で最も簡単な整数  $m_k$  に対してそれぞ

\* 傾き角の選択の自由度を利用して、各1次元格子2, 3の空間周波数スペクトル成分が互いに分離するように条線方向を選び、空間周波数フィルタによるスペクトルの選択的な抽出ができるようにする。

【0014】図3に示すように、本実施形態における一方の被測定物6aは高さ20mmの円柱体であり、他方の被測定物6bは高さが30mmの直方体である。これらは、縁に沿って大きな不連続段差をもち、両者は相互に接続点をもたない孤立した面から構成されている。他の一つの被測定物7は、頂上の高さが25mmの山型の連続な高さ分布の円錐体である。

【0015】この両被測定物6a, 6b, 7に、図2に示すように、光源4により2次元格子1の格子パターンを投影する。そして、この2次元格子像10をイメージセンサ11により撮像する。2次元格子像10は、図4に示すように、被測定物6a, 6b, 7の3次元形状に応じて変形しており、水平方向の周期比が  $d_1 : d_2 = 3 : 7$  で、縦方向の条線と斜め方向の条線からなる2つの1次元格子2, 3が多重に重畠されている。

【0016】被測定物の高さ  $h(x, y)$  により位相変調された格子像パターン  $g(x, y)$  は下記(1)式で表される。ここで  $f_{xk}, f_{yk}$  は空間周波数、  $r(x, y)$  は被測定物表面の反射率である。

【0017】

【数1】

※れ下記(3)となるように選んでおくと、下記(4)、(5)式は  $m_k$  (=  $\Delta h_k / \alpha$ ) を法とする連立合同系(下記(6)式)を作り上げるので、結局被測定物の高さ  $h(x, y)$  はこの連立合同方程式の解法に帰着される。

【0019】

【数2】

$$\Delta h_k = 1 / (f_{xk} \tan \theta) \dots (2)$$

$$\frac{(1/f_{xk})}{m_k} = \alpha \tan \theta \text{ (一定)} \quad (k=1, 2, \dots, K)$$

... (3)

$$\hat{X} = h(x, y) / \alpha \dots (4)$$

$$\hat{b}_k = h_k(x, y) / \alpha \quad (k=1, 2, \dots, K) \dots (5)$$

$$\hat{X} \equiv \hat{b}_k \pmod{m_k} \quad (k=1, 2, \dots, K) \dots (6)$$

【0020】イメージセンサ11からの2次元格子像パターンは、画像処理回路12に入力されて、図8に示す処理が行われる。画像処理回路12では、この2次元格子像10に応じた画像データを2次元フーリエ変換して、空間周波数スペクトルの強度分布を得る（ステップ100）。

【0021】図5はこの2次元フーリエ変換することにより得られた空間周波数スペクトルの強度分布の斜視図である。縦方向の条線の1次元格子2の空間周波数スペクトル13、13' と斜め方向の1次元格子3の空間周波数スペクトル14、14' は、2次元空間周波数領域でこのように分離されるので、各1次元格子2、3の空間周波数に対応したスペクトル成分を空間周波数フィルタにより選択的に抽出する（ステップ110）。

【0022】次に、選択抽出した空間周波数スペクトルの2次元フーリエ逆変換を行い（ステップ120）、位相をヘテロダイン検出する（ステップ130）。本実施形態では2つの1次元格子2、3を多重化したが、図5のスペクトル分布から明らかかなように、さらに多くの1次元格子を多重化してスペクトルを分離することもできる。

【0023】ステップ110～130の処理を繰り返し実行して、全ての多重化スペクトルに対して位相の検出を行い（ステップ140）、全ての多重化スペクトルに対して位相を得た後は、既存の方法により高さ分布を求める（ステップ150）。異なる位相感度の複数の計測データを統合して高さ分布を求める方法としては、多波長干渉計測における合同法や合致法等の既存の方法を用いることができる。

【0024】ヘテロダイン検出された位相は（-π、π]の主値の範囲に折り畳まれているが、被測定物6a、6b、7の高さを位相値に変換する計測感度が各1次元格子2、3の水平方向の周期に応じて3:7と異なる。

\*るために、図6に示すように、各周波数スペクトルごとに異なる高さ範囲に折り畳まれた3次元形状分布が得られる。

【0025】3次元形状分布15は条線が縦方向の1次元格子2のスペクトル成分13をフィルタで取り出しヘテロダイン検出して得られた高さ分布であり、高さが3mmの範囲に折り畳まれている。一方、3次元形状分布16は条線が斜め方向の1次元格子3のスペクトル成分14をフィルタで取り出しヘテロダイン検出して得られた高さ分布であり、高さが7mmの範囲に折り畳まれている。このように、図4に示した単独の2次元格子像10から同時に2つの異なる感度の計測データを取得することができる。多重化度を高めればさらに多くの異なる感度の計測データを得ることができる。

【0026】本発明による空間周波数多重化を行わない従来のヘテロダイン法では、図6の折り畳まれた高さ分布15または16のいずれか一方のみが得られることがある。図3の被測定物6a、6bのように、縁に沿って大きな不連続段差をもち、相互に接続点をもたない孤立した面から構成されている物体の場合は、両高さ分布15、16の折り畳まれた高さ分布のいずれか1つだけからは、その3次元形状を一意に決定することができない。したがって、本発明の方法により、単独の2次元格子像10から同時に複数の異なる感度の計測データを取得することが不可欠である。

【0027】3:7の高さ感度比で折り畳まれた図6の2つの高さ分布15と16のデータを統合して3次元形状を求める方法として、多波長干渉計測の分野でよく知られた合同法を用いると図7に示すように3次元形状分布を正しく求めることができる。

【0028】また、空間周波数多重化2次元格子像10を2次元フーリエ変換しフィルタリングして、所望のスペクトル成分を選択的に抽出するのと全く等価な処理を

2次元格子像に対する直接演算により実現することもできる。即ち、図9に示すように、所望のスペクトルを選択的に抽出するのに用いた2次元フィルタ窓関数を逆フーリエ変換して2次元インパルス応答関数を得て（ステップ200）、それを空間周波数多重化2次元格子像に直接2次元コンボルーション演算することによっても各1次元格子の空間周波数に対応したスペクトル成分を選択的に抽出することができる（ステップ210）。尚、以下の処理（ステップ130～150）は、前述した処理と同じであるので、説明を省略する。

【0029】本発明は、被測定物6a, 6b, 7の3次元形状に応じて変形した空間周波数多重化2次元格子像10を画像処理回路12に取り込み、各1次元格子2, 3の空間周波数に対応したスペクトル成分を空間周波数フィルタにより選択的に抽出し、その位相を個別にヘテロダイイン検出する。

【0030】この空間周波数フィルタリングは、変形格子像を2次元フーリエ変換した周波数スペクトル領域で行うか、あるいは、それと同等な2次元コンボルーション演算を2次元格子像に対して直接実行する。ヘテロダイイン検出されたこれらの位相は $(-\pi, \pi]$ の主値の範囲に折り畳まれているが、被測定物6a, 6b, 7の高さを位相値に変換する計測感度が各1次元格子2, 3の空間周波数に応じて異なるために、各周波数スペクトルごとに異なる高さ範囲に折り畳まれた3次元形状分布が得られる。

【0031】このため、それぞれの1次元格子2, 3のスペクトル成分から得られる複数の計測データを統合することにより、不連続段差や孤立した物体面の有無に関わらず、各単独の計測点ごとにその高さを個別に決定することができる。また、1回の格子パターン投影で瞬時計測することができるため、高速運動中や高速変形中の不連続物体の瞬時形状の計測を可能にする。

【0032】以上本発明はこの様な実施形態に何等限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において種々なる態様で実施し得る。

### 【0033】

【発明の効果】以上詳述したように本発明の3次元形状

測定方法は、大きな不連続段差をもつ被測定物や各部が相互に接続点をもたない孤立した面から構成されるような被測定物の3次元形状を、1回の格子パターン投影で瞬時計測することができるため、従来法で困難であった高速運動中や高速変形中の不連続物体の瞬時形状の計測を可能にするという効果を奏する。干渉計測法と異なり振動や空気の微小ゆらぎなどの影響を受けにくいで除振台などを必要とせず、産業の現場における計測を可能にする。また、本発明による空間周波数多重化格子は、多重化した各1次元格子成分から異なる計測感度の位相を取り出す手段として、ヘテロダイイン法を用いることができるるので、ヘテロダイイン法の特徴である高分解能と本発明の特色である測定のダイナミックレンジの拡大が同時に達成される。

### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態としての3次元形状測定方法に用いる2次元格子の拡大説明図である。

【図2】本実施形態の3次元形状測定方法を用いた装置の概略光路図である。

【図3】本実施形態の被測定物の斜視図である。

【図4】本実施形態の2次元格子像の説明図である。

【図5】本実施形態の被測定物の空間周波数スペクトルの強度分布を示す斜視図である。

【図6】本実施形態の異なる感度で折り畳まれた高さ分布の斜視図である。

【図7】本実施形態の3次元形状測定方法により得られた計測結果の斜視図である。

【図8】本実施形態の画像処理回路で行われるフーリエ変換処理の一例を示すフローチャートである。

【図9】本実施形態の画像処理回路で行われるコンボルーション処理の一例を示すフローチャートである。

### 【符号の説明】

1…2次元格子 2, 3…1次元格子

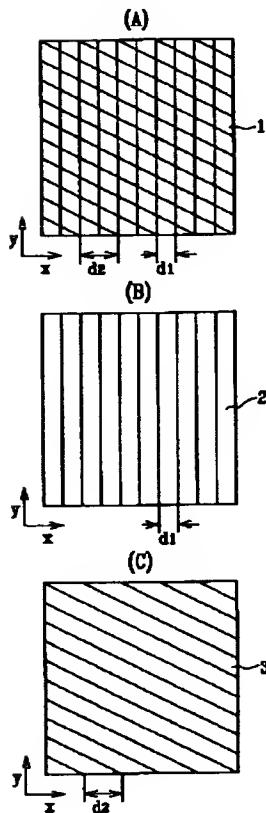
4…光源 5…投影レンズ

6a, 6b, 7…被測定物

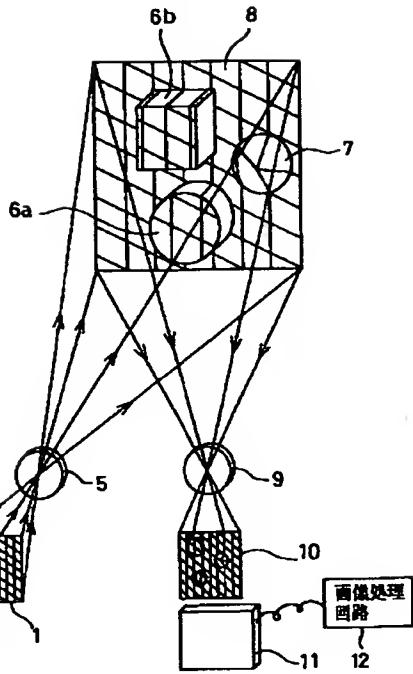
8…参照平面 9…結像レンズ

10…2次元格子像 11…イメージセンサ

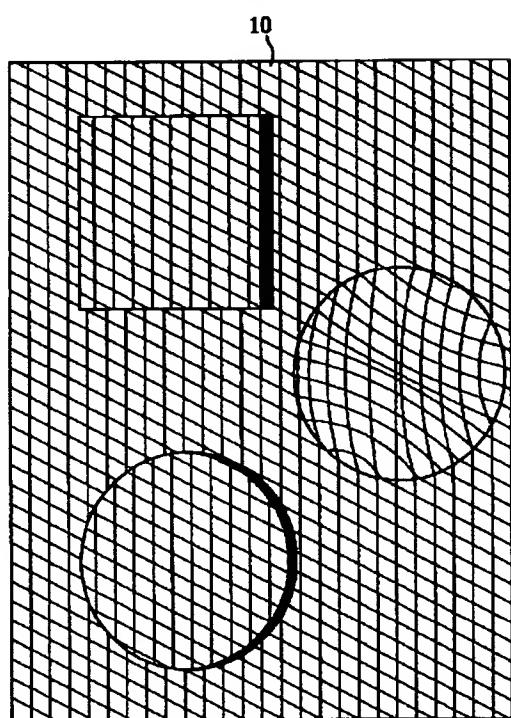
【図1】



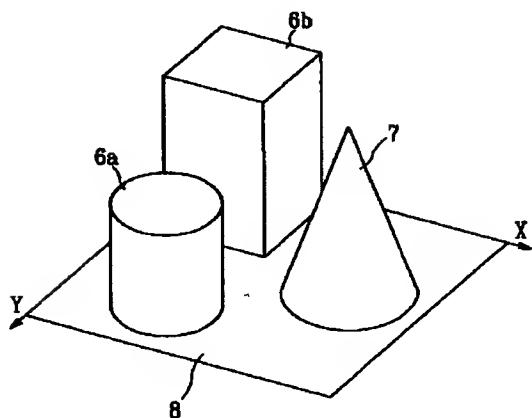
【図2】



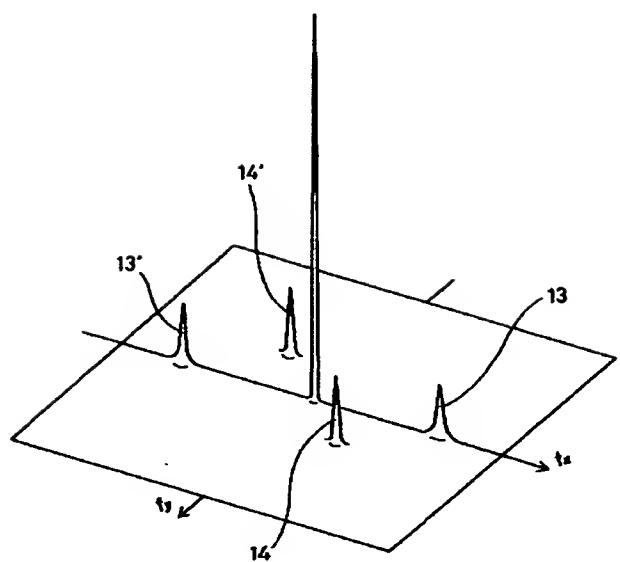
【図4】



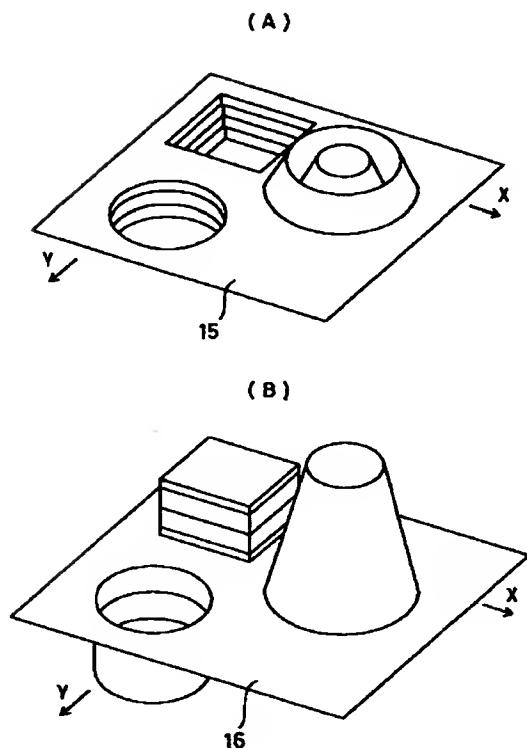
【図3】



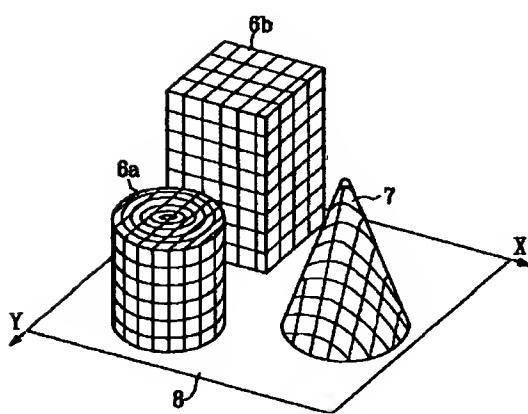
【図5】



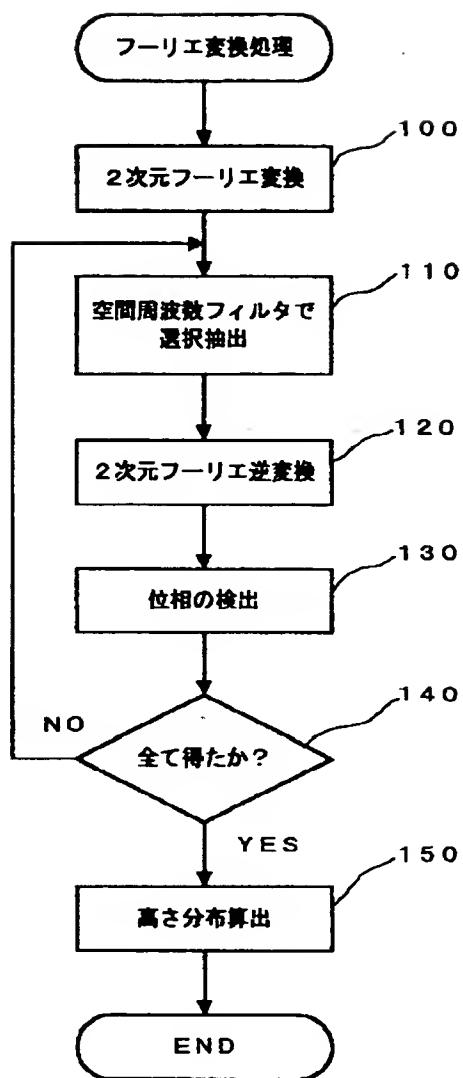
【図6】



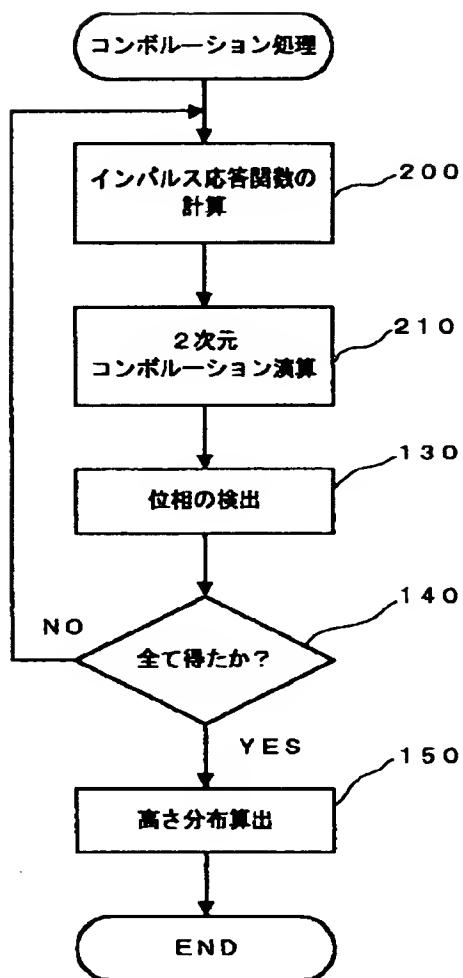
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 高井 英明  
 神奈川県横浜市神奈川区西寺尾3-18-30  
 -V107

(72)発明者 高橋 洋祐  
 千葉県千葉市若宮区小倉台1741-1-317